Bestimmung der Dielectricitätsconstante mittels der Resonanz.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

bei

der hohen philosophischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

eingereicht und mit den beigefügten Thesen verteidigt

am 10. März 1894

von

Charles Burton Thwing

aus Evanston, Illinois, U. S. A.

Opponenten:

Hans Usener, cand. phil.
Eugen Gaufinez, cand. phil.
Peter Bauer, cand. phil.

Bonn,

Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi.

1894.

Die Schwingungsdauer electrischer Schwingungen, die durch die Entladung eines electrischen Systemes erregt werden, hängt nur von der Capacität und der Selbstinduction des Systemes ab. Daraus folgt dann, dass wenn zwei Systeme, A_1, A_2, eine und dieselbe Selbstinduction haben, auch ihre Capacitäten einander gleich sein müssen, solange beide Systeme mit einem dritten, A_3, in Resonanz stehen.

Dieses Princip der Resonanz habe ich nun auf Vorschlag des Herrn Professor Hertz zur Bestimmung der Dielectricitätsconstante verschiedener Substanzen benutzt.

Versuchsanordnung.

Die zu diesen Bestimmungen gebrauchten Apparate sind:

1. Ein primärer Kreis mit einem Luftcondensator von variabler Capacität, und ein Inductorium von mittlerer Grösse.

2. Ein secundärer Kreis mit variablem Luftcondensator, welcher durch den zu den Capacitätsmessungen dienenden Condensator ersetzt werden konnte.

3. Ein Electrodynamometer, welcher zur Messung der in dem secundären Kreis erregten Schwingungen angewandt wurde.

Als solches dient ein sehr einfaches, doch ganz empfindliches, von Hertz erfundenes Instrument[1]). Figur 1 giebt ein Bild desselben.

Ein Neusilberdraht a b von 60 cm Länge und 0,12 mm Durchmesser ist in der Mitte durchschnitten, und die beiden Stücke sind an den entgegengesetzten Seiten eines zur Richtung des Drahtes a b senkrechtstehenden Stahldrahtes c d mit Lot befestigt. Der Stahldraht c d hat einen Durchmesser von 0,86 mm.

In einer Lage, in welcher a b schon gut gespannt ist, wird c d erhalten durch die Torsion, welche er in den dünneren Stahldrähten c f, d e, von 0,25 mm Durchmesser und 25 mm Länge, wachruft. Bei jeder Erwärmung des Neusilberdrahtes detordieren sich die Drähte c f, d e und veranlassen also eine Drehung des Drahtes c d um seine Längsaxe.

Diese Drehung wird mittels eines an der Axe befestigten Spiegels, welcher durch eine ca. 2 m entfernte Lampe beleuchtet wird, kenntlich gemacht, indem man vermittels einer 5 cm vor dem Spiegel aufgestellten Linse von 2 m Brennweite ein scharfes Bild der Lampenflamme auf einer über der Lampe befindlichen Skala entwirft.

Eine direkte Ablesung des Ausschlages mittels eines Fernrohrs wird für Wechselströme durch die sehr kleinen, aber schnellen Mitschwingungen des Spiegels unmöglich, die ihre Entstehung der abwechselnden Erwärmung und Abkühlung des Drahtes durch den alternierenden Strom verdanken.

Die Zusammensetzung der erwähnten Apparate ist in Figur 3 dargestellt. Der primäre Kreis A p

---

1) Siehe Zeitschrift für Instrumentenkunde. Bd. III. p. 17, 1883.

bildet ein Quadrat von 60 cm Seitenlänge. Der secundäre Kreis A s ist gleich gross; der Abstand beider beträgt 15 cm. Der primäre Condensator C p (Fig. 4) besteht aus zwei kreisförmigen Zinkplatten von 40 cm Durchmesser; die eine ist fest, die andere auf zwei dicken Glasröhren R, R senkrecht zu sich selbst verschiebbar. Der Abstand der zwei Platten wird mittels eines Zeigers z auf einer Millimeterskala m abgelesen. Als secundären Condensator benutzte ich den von Kohlrausch angegebenen, mit Regulierschrauben und einer Skala.

Mittels eines Nonius wird der Abstand der beiden Platten desselben bis zu einer Genauigkeit von 0,1 mm abgelesen; seine Platten besitzen einen Durchmesser von 15,06 cm.

Die Capacitäten des Condensators wurden für alle Entfernungen der Platten von 0,1 mm bis 30 mm nach der Kirchhoff'schen Formel[1])

$$C = \frac{R_2}{4a} + \frac{R}{2\pi}\left(\log\frac{8\pi R}{a} - 1\right)$$

berechnet, und in eine Tabelle eingeschrieben; dann wurden für alle Entfernungen, A p, der Platten des primären Condensators die entsprechenden Abstände, A s, des secundären Condensators durch Beobachtungen bestimmt. Eine beliebige Reihe von solchen Beobachtungen möge als Beispiel für die Genauigkeit der Beobachtungen im allgemeinen dienen. Es wurde C p auf einen Abstand von 7,3 cm gestellt, C s hin und her geschoben, bis ein maximaler Ausschlag des Flammenbildes erhalten wurde, der Abstand abgelesen und die Platten von neuem eingestellt. Die erste Zeile der

---

1) Kirchhoff, Electricität. p. 109.

Tabelle I enthält die Entfernungen der Platten, die zweite die denselben entsprechenden Capacitäten.

Tabelle I.

As	80	84	89	84	80	89	90	Mittel 85
Cs	23,07	22,35	21,19	22,35	23,07	21,19	20,95	22,12

Um diese Werte, welche in alle folgenden Bestimmungen eintreten, möglichst genau zu bekommen, wurden die einzelnen Werte in einer Curve zusammengestellt und der mittlere Wert der ganzen Reihe genommen.

Die Empfindlichkeit des Dynamometers zeigt Tabelle II (vergl. die Curve Fig. 2).

Bei diesen Bestimmungen wurde in den secundären Kreis statt des Kohlrausch'schen Condensators, der unten beschriebene Condensator III, welcher Terpentin als Dielectricum enthält, eingeschaltet. Zeile 1 giebt die Werte für den Abstand Ap, Zeile 2 die für die Dynamometerausschläge wieder.

Tabelle II.

Abstand	35	40	45	50	55	60	62	64
Ausschlag	80	102	132	150	165	182	195	200
Abstand	66	70	75	80	90	100	110	130
Ausschlag	195	181	162	141	105	86	70	50

Um aus diesen Zahlenangaben ein ungefähres Urteil über die Intensität der Schwingungen zu erhalten, liess ich durch die ganze Länge des Neusilberdrahtes vom Dynamometer den Strom eines Accumulators gehen, was einen Ausschlag von 250 Skalenteilen ergab.

In dem Falle, wo das Dielectricum etwas leitet, wird der Ausschlag kleiner. Es wurden keine Bestimmungen vorgenommen, sobald der Ausschlag weniger wie 30 Skalenteile betrug. Es ist aber noch zu bemerken, dass die Leitungsfähigkeit des Dielectricums keinen Einfluss auf die Capacität selbst ausübt; sie vermindert nur die Genauigkeit des Resultates durch Verminderung der Grösse der gemessenen Quantität.

Wegen des kleinen Abstandes der zwei Kreise reagiert der secundäre auf den primären; diese Reaction macht sich durch eine veränderte Regelmässigkeit des durch den Stromunterbrecher hervorgerufenen Tones bemerkbar. Nähert sich die Schwingungsdauer des secundären Kreises der des primären, so werden die Oscillationen des Unterbrechers immer regelmässiger, bis Resonanz erreicht ist; dann hat der Ton gewöhnlich eine bestimmte musikalische Höhe erlangt. Ein Instrument, welches genau dieser Reaction entspricht, würde uns wohl ein sehr empfindliches Mittel bieten, um das Eintreten der Resonanz zu beobachten.

Es bleibt mir nun noch übrig, die Condensatoren zu beschreiben, die zur Bestimmung der Dielectricitätsconstanten selbst benutzt werden. Feste Körper wurden als Platten zwischen zwei kreisförmigen, einander genau gegenübergestellten Messingplatten untersucht. Der Zwischenraum zwischen den beiden Platten war ganz von dem Dielectricum ausgefüllt. Dann ergab sich

die Dielectricitätsconstante K gleich dem Verhältnis der Capacität des Condensators, wenn sich das untersuchte Dielectricum zwischen den Platten befand, zu der Capacität desselben Condensators, wenn Luft sich zwischen den Platten befand. Zur Berechnung der letzteren Capacität dient die oben angegebene Kirchhoff'sche Formel.

Flüssigkeiten untersuchte ich zunächst mittels eines Condensators, der aus zwei in der Mitte eines Glascylinders mit Platindrähten befestigten Metallkugeln bestand.

Jedoch zeigte sich bald der Nachteil dieser Einrichtung. Es war nämlich immer eine grosse Menge Flüssigkeit erforderlich, um sämtliche Kraftlinien innerhalb derselben verlaufen lassen zu können. Ich benutzte deshalb die in Figur 5 wiedergegebene Einrichtung.

Die Flüssigkeit erfüllt dabei einen Raum, der zwischen zwei concentrischen Metallcylindern a und b sich befindet, so dass sämtliche Kraftlinien geradlinig sind, da die Enden durch 5 mm tief eingeschraubte Hartgummistücke e, e verschlossen werden. Als Einguss dient ein am äusseren Rohre befindlicher Ansatz c. Derselbe kann durch einen Metallstöpsel s geschlossen werden, dessen unteres Ende genau dem Inneren des Cylinders b entspricht. Dieser Stöpsel ist mit einem kleinen Loche versehen, um der überschüssigen Flüssigkeit einen Austritt zu gestatten. In dieser Form bietet der Condensator keine Oberfläche, welche, an der Luft gelegen, eine Luftentladung herbeiführen kann.

Der Contact der Leitung an die beiden Metallcylinder wird dadurch herbeigeführt, dass man den ganzen Condensator in ein Gestell so einsetzt, dass von zwei Metallfedern die eine an den äusseren Mantel

von b, die andere an das durch die Hartgummiplatte hindurchgehende Ende des Cylinders a angedrückt wird.

Die Capacität des mit der Flüssigkeit gefüllten Teils des Condensators wurde nach der Maxwellschen Formel[1])

$$C = \frac{1}{2} \frac{l}{\log \frac{b}{a}}$$

berechnet, wo l die Länge der beiden Cylinder, b der Radius des äusseren, a der des inneren ist. Diese Grösse, von der gemessenen Capacität des Condensators in Luft Cl subtrahiert, ergiebt die Capacität Ce der Enden des Condensators. Also: Ce—C=Ce. Es ergiebt sich sodann:

$$K = \frac{Cs. - Ce}{C}$$

Um sehr von einander abweichende Dielectricitätsconstante zu messen, mussten drei Condensatoren von verschieden grossen Dimensionen, welche in Tabelle III angegeben sind, angewandt werden. Man sieht, dass die meisten Flüssigkeiten mittels zweier dieser Condensatoren gemessen werden konnten.

Tabelle III.

No	l	Volumen	b	a	C	Ce	Zum Gebrauch für Dielectricitätsconstanten, K.
I	1	1,55	7,15	1,25	0,287	8,0	Von K = 15 bis K = 100
II	2	2,45	7,15	3,48	1,388	10,8	Von K = 5 bis K = 25
III	4	3,37	7,15	5,04	5,5998	11,5	Von K = 1 bis K = 15

1) Maxwell, Electricity and Magnetism. Vol. I. p. 177.

Eine grosse Schwierigkeit bestand darin, von allen festen Körpern Platten zur Messung der Dielectricitätsconstanten herzustellen. Um derselben zu begegnen, kam ich auf den Gedanken, den oben beschriebenen cylindrischen Condensator sowohl zur Messung fester wie flüssiger Substanzen zu benutzen. Die Methode war folgende. Der Cylinder wurde zuerst leer, dann mit der festen Substanz in Form von Pulver gefüllt, gewogen. Der Raum zwischen den einzelnen festen Teilchen wurde mit Flüssigkeit, in welcher dieselben unlöslich waren, beschickt.

Aus der bekannten Dichtigkeit der Substanz ergab sich dann das Volumen desselben. Das Volumen des Cylinders vermindert um das Volumen der festen Substanz ist dann das Volumen der Flüssigkeit. Die Dielectricitätsconstante der Mischung ist dann gleich der Summe der Dielectricitätsconstanten von Pulver und Flüssigkeit, jede multipliciert mit dem entsprechenden Volumen, die Summe dividiert durch das Volumen der Mischung, also

$$Km = \frac{VlKl + VsKs}{Vm}$$

woraus sich die Dielectricitätsconstante der Pulver als

$$Ks = \frac{VmKm - VlKl}{Vs}$$

ergiebt.

Die Resultate.

Dieselben habe ich in verschiedenen Tabellen zusammengestellt, aus deren Betrachtung sich das nähere ergiebt.

Tabelle IV enthält die Resultate der Untersuchung von festen Körpern, Tabelle V die von Flüssigkeiten. Die Bestimmungen wurden, wo die Temperatur nicht genauer angegeben ist, bei 15° gemacht.

Der Wert für Rohrzucker in flüssigem Zustand wurde durch Extrapolation von drei wässrigen und zwei alkoholischen Lösungen des Zuckers, der für Weinsäure von einer alkoholischen Lösung bestimmt.

Der Wert für Eis in Plattenform bei —2° erscheint weniger zuverlässig als der im cylindrischen Condensator erhaltene. Denn im ersten Falle war die Zimmertemperatur = 0°; es ist möglich, dass sich hier eine Wasserhaut an den Platten gebildet hat. Im zweiten Falle war die Temperatur der Umgebung = —5°

Tabelle IV.

Feste Körper.

Substanz	Abstand der Platten	Radius der Platten	K	Substanz	Gemisch von	K
Paraffin	0,42	4,05	2,14	Eis, bei —5°		2,85
	0,66	4,05	2,18	Cetylalkohol		6,42
Ebonit	0,42	4,05	2,71	Acetophenon		16,24
Holz -eichen	2,64	6,00	2,93	Eisessig		2,79
-tannen	1,58	6,00	2,95	Sand	Aether	7,43
Papier	0,6	4,05	2,82	Kaliumchlorat	„	6,18
Porcellan	0,8	4,05	4,20	Kaliumcarbonat	„	5,62
Glas (spiegel)	0,1	4,05	5,84	Kaliumsulfat	„	6,45
Sandstein	2,8	4,05	6,20	Kupfersulfat	„	5,46
Marmor (weiss)	1,93	4,05	6,13	Kupferoxyd	Alkohol	18,10
(schwarz)	1,86	4,05	6,15	Eisenoxyd	Aether	14,20
Kalkspath	1,4	2,0	7,40	Bariumnitrat	„	9,15
	1,4	2,5	7,34	Bariumsulfat	„	11,40
Steinsalz	0,68	2,0	5,81	Bleicarbonat	„	18,58
Gyps	0,54	2,0	5,61	Bleioxyd	Alkohol	25,90
Eis, bei —2°	1,50	4,05	3,36	Bleisulfid	„	17,92
Rohrzucker	1,0	2,0	4,19	Rohrzucker	Aether	4,13

Tabelle V.

Flüssigkeiten.

Substanz	K	Substanz	K
Wasser	75,50	Aldehyd	18,55
Glycerin	56,20	Salicylaldehyd	19,21
Rohrzucker (in Wasser)	52,00	Propylaldehyd	14,41
(in Alkohol)	55,00	Benzaldehyd	14,48
Methylalkohol	34,05	Valeraldehyd	11,76
Aethylalkohol	25,02	Cuminaldehyd	10,68
Propylalkohol	20,45	Chloral	5,47
Isopropylalkohol	19,82	Aceton	21,85
Amylalkohol	14,62	Methylaethylketon	18,44
Allylalkohol	21,60	Acetylchlorid	25,30
Weinsäure	35,90	Methylpropylketon	16,75
Ameisensäure	62,00	Acetophenon	16,24
Milchsäure	20,90	Dipropylketon	12,44
Essigsäure	10,30	Methylhexylketon	10,42
Propionsäure	5,50	Nitrobenzol	32,19
Buttersäure	3,16	Nitromethan	56,36
Valeriausäure	3,06	Nitrotoluol	26,58
Kreosol	11,75	Aethylnitrat	17,72
Toluol	2,37	Aethylaether	4,27
Terpentin	2,28	Chloroform	3,95
Schwefelkohlenstoff	2,50	Bromoform	7,42

Im weiteren Verlauf meiner Arbeiten erschien es mir noch von Interesse, eine Reihe von Mischungen zu untersuchen —, besonders von wässrigen Mischungen solcher Substanzen, die sich in allen Verhältnissen leicht mit Wasser mischen. Die hierüber erhaltenen Resultate sind in den Tabellen VI—XI und den Curven (Fig. 6—11) dargestellt. Für Mischungen von Aethyl- mit Methylalkohol liegen die Werte immer unter dem Mittelwert beider Substanzen in reinem Zustande.

Für alle andern untersuchten Mischungen zeigt die Curve ein oder mehrere singuläre Punkte, welche ohne Ausnahme auf solche Procentgehalte der Substanz

fallen, welche einer chemischen Verbindung derselben mit Wasser entsprechen.

Für Propylalkohol sowohl wie für Essigsäure sind solche Hydrate schon bekannt; die andern Mischungen geben alle, entweder durch Kontraction, durch Anziehung von Wasser oder durch Wärmeentwickelung bei der Mischung, der Annahme eben solcher Verbindungen einige Wahrscheinlichkeit.

Zu den bei wässrigen Mischungen der Essigsäure erlangten Resultaten ist noch zu bemerken, dass infolge wachsender Leitungsfähigkeit der Mischung beim Zusatz des Wassers keine genaueren Messungen angestellt werden konnten, solange die Mischung weniger als 30 Procent Essigsäure enthielt.

Tabelle VI.

Wasser und Aethylalkohol.

Procentgehalt des Alkohols	K	Entsprechendes Hydrat	Procentgehalt des Alkohols	K	Entsprechendes Hydrat
0	75,50		50	44,11	
5	72,30		55	39,93	
10	67,95		60	36,31	
15	65,36		65	34,60	
20	61,79		70	33,66	
25	60,21		72	33,86	C_2H_6O
30	59,55	C_2H_6O			$+H_2O$
		$+6H_2O$	75	30,30	
32	55,20		80	28,15	
35	50,52		85	26,58	
40	48,40		90	25,71	
46	48,40	C_2H_6O	95	25,27	
		$+3H_2O$	99,8	25,02	

Tabelle VII.

Wasser und Methylalkohol.

Procentgehalt des Methylalkohols	K	Entsprechendes Hydrat	Procentgehalt des Methylalkohols	K	Entsprechendes Hydrat
0	75,50		50	57,14	
5	73,24		55	52,51	
10	72,30		60	50,00	
15	70,73		65	46,76	
20	69,20		70	45,16	
25	67,94		75	44,11	
30,8	67,94	$CH_4O + 4H_2O$	78	44,62	$2CH_4O + H_2O$
35	64,14		80	40,98	
37	61,50		85	38,05	
40	60,22		90	36,30	
45	59,41		95	34,05	
47,5	60,22	$CH_4O + 2H_2O$	99,7	34,05	

Tabelle VIII.

Methylalkohol und Aethylalkohol.

Procentgehalt des Aethylalkohols	K	Procentgehalt des Aethylalkohols	K
0	34,05	60	26,20
10	31,91	70	25,71
20	30,21	80	25,34
30	28,54	90	25,36
40	27,59	100	25,02
50	26,78		

Tabelle IX.

Wasser und Propylalkohol.

Procentgehalt des Propylalkohols	K	Hydrat	Procentgehalt des Propylalkohols	K	Hydrat
0	75,50		65	37,52	
10	69,50		70	36,87	
20	62,80		77	36,00	C_3H_8O
25	60,08				$+H_2O$
35	53,35		80	28,92	
50	44,63		90	21,60	
55	42,00		95	20,73	
60	38,75		99,8	20,45	

Tabelle X.

Wasser und Glycerin.

Procentgehalt des Glycerins	K	Hydrat	Procentgehalt des Glycerins	K	Hydrat
0	75,5		58	69,20	
10	73,24		65	64,14	
20	72,30		73	61,79	
30	71,36		80	59,40	
40	71,36		89	57,80	
48,5	71,46		94	56,54	
56	72,30	$C_3H_8O_3$ $+H_2O$			

Tabelle XI. Wasser und Essigsäure.

Procentgehalt der Essigsäure	K	Hydrat	Procentgehalt der Essigsäure	K	Hydrat
0	75,50		70	39,48	
30	64,20		74	36,62	
40	61,79		77	36,87	$C_2H_4O_2 + H_2O$
50	60,80				
60	60,80		80	22,90	
62,5	61,25	$C_2H_4O_2 + 2H_2O$	100	10,30	

Tabelle XII und die Curve Fig. 12 zeigt die Aenderung der Dielectricitätsconstante des Wassers mit der Temperatur, wozu ich später noch einiges bemerken werde.

Tabelle XII. Wasser.

Temperatur	K	Temperatur	K
0°	79,46	15	75,50
2	80,84	20	73,92
4	85,20	27	72,70
6	80,84	40	69,80
7	79,40	65	64,32
9	77,95	80	60,50
12	76,20	88	57,90

Der augenscheinliche Zusammenhang zwischen den Dielectricitätsconstanten der das Hydroxyl enthaltenden Substanzen, brachte mich auf den Gedanken, nach einer Beziehung zwischen Dielectricitätsconstante und chemischer Constitution zu suchen. Der hohe Wert für Glycerin, wie der Unterschied der Werte für Propyl- und Isopropylalkohol zeigte sofort einen Einfluss der Dichte, der überhaupt in Folge der allgemeinen Eigenschaften der Substanzen erwartet werden musste.

Versuchsweise ging ich von einer Formel:

$$K = \frac{D}{M}(a_1K_1 + a_2K_2 + \ldots.)$$

aus, wo D die Dichte, M das Moleculargewicht der Substanz bezeichnen, a_1, a_2, K_1, K_2 die Anzahl von Atomen oder Atomgruppen einer und derselben Art im Molecül resp. die Dielectricitätsconstante derselben, welche letztere sich durch die Beobachtung in folgender Weise bestimmen lassen.

Zuerst wurden die Werte der Constanten für Wasserstoff K_H und für Kohlenstoff K_C bestimmt durch Substanzen, die aus diesen Elementen einfach zusammengesetzt sind, ohne Atomgruppen zu enthalten.

Dieselben standen in einem ungefähren Verhältnis von 1 : 12, welches auch das Verhältnis ihrer Moleculargewichte ist. Es wurden dann die Werte $K_H = 2{,}6$, $K_C = 31{,}2$, $K_O = 41{,}2$ als fest genommen, und derjenige Wert, $K_{(OH)} = 1356$, für Hydroxyl gewählt, welcher sich aus dem beobachteten Wert von Wasser ergiebt.

Zunächst wurden die Werte für alle diejenigen Hydroxyl enthaltenden Substanzen, die schon bestimmt waren, berechnet, welche in Tabelle XIII neben dem beobachteten Wert angegeben sind, nebst dem einige anderen Atomgruppen enthaltenden Substanzen. Die Uebereinstimmung war mir selbst überraschend.

Bei festen Körpern ebenso wie bei Flüssigkeiten, die keine Atomgruppen enthalten, scheinen die Dielectricitätsconstanten der Elemente gleich dem Product aus der des Wasserstoffs in das Moleculargewicht des Elements zu sein.

In diesem Fall geht die Formel in folgende einfache Form über: $K = \kappa D$, wo $\kappa = K_H$ ist. Die in Ta-

belle XIV dargestellten Werte sind aus den Formeln $K = 2{,}6D$ berechnet.

Schwefel verlangt den Wert $K_S = M_K/2$ statt M_K, weshalb er mit seinen Verbindungen in Tabelle XIII mit angeführt ist.

Es scheint daher doch wohl kaum zufällig zu sein, dass eine so grosse Anzahl von Substanzen mit ganz verschiedenen Eigenschaften mit meinen Formeln in Einklang zu bringen sind.

Tabelle XIII.

$$K = \frac{D}{M}(a_1K_1 + a_2K_2 + \ldots)$$

$K_H = 2{,}6$	$K_{(OH)} = 1356$	$K_{(CH_2)} = 41{,}6$
$K_C = 2{,}6 \times 12$	$K_{(CO)} = 1520$	$K_{(CH_3)} = 46{,}8$
$K_O = 2{,}6 \times 16$	$K_{(COH)} = 970$	$K_S = 2{,}6 \times 32/2$
$K_X = 2{,}6 \times M_X$	$K_{(NO_2)} = 3090$	

Substanz	Formel	D	M	K berechnet	K beobachtet	Beobachter
Wasser	H.OH	1	18	75,50	75,50 78,00	Thwing Mittel von 8 Beobachtern
Glycerin	$C_3H_5(OH)_3$	1,26	92	57,17	56,20	Thwing
Rohrzucker	$C_{12}H_{14}(OH)_8O_3$	1,588	342	53,67	53,50	„
Methylalkohol	$CH_3.OH$	0,796	32	34,38	34,05 32,60	„ Tereschin
Aethylalkohol	$C_2H_5.OH$	0,8	46	25,00	25,02 26,20	Thwing Mittel von 5 Beobachtern
Propylalkohol	$CH_3(CH_2)_2$	0,82	60	20,32	20,45	Thwing
-iso		0,7879	60	19,51	19,82	„
Amylalkohol	$C_4H_9(CH_2)(OH)$	0,8296	88	14,48	14,62 15,00	„ Cohn u. Arons
Allylalkohol	$C_3H_5.OH$	0,85	58	21,54	21,60	Thwing
Cetylalkohol	$C_{16}H_{33}.OH$	0,818	242	6,56	6,42	„
Weinsäure	$C_2H_2(OH)_2(CO_2H)_2$	1,75	150	35,02	35,90	„

Substanz	Formel	D	M	K berechnet	K beobachtet	Beobachter
Milchsäure	$CH.OH.CH_3.CO_2H$	1,215	90	20,97	20,90	Thwing
Kreosol	$C_6H_3.OH.OCH_3.CH_3$	1,0894	138	12,63	11,75	„
Ameisensäure	$OH.COH$	1,223	46	61,88	62,00	„
Aldehyd	$CH_3.COH$	0,807	44	18.55	18,55	„
Salicylaldehyd	$C_6H_4.OH.COH$	1,172	132	20,46	19,21	„
Propylaldehyd	$C_2H_5.COH$	0,866	58	14,52	14,41	„
Benzaldehyd	$C_6H_5.COH$	1,063	106	11,70	14,48	„
Valeraldehyd	$CH_3(CH_2)_3COH$	0,884	86	11,92	11,76	„
Cuminaldehyd	$C_6H_4(C_3H_7)COH$	0,9832	148	8,37	10,68	„
Chloral	$CCl_3.COH$	1,549	147,5	13,43	5,47	„
Aceton	$CH_3.CO.CH_3$	0,792	58	21,85	21,85	„
Methylaethylketon	$CH_3CO.C_2H_5$	0,8125	72	18,42	18,44	„
Acetylchlorid	$CH_3.CO.Cl$	1,138	78,5	24,06	25,30	„
Methylpropylketon	$CH_3.CO.C_3H_7$	0,828	86	16,06	16,75	„
Acetophenon	$CH_3.CO.C_6H_5$	1,032	120	15,08	16,24	„
Dipropylketon	$C_3H_7.CO.C_3H_7$	0,82	114	12,52	12,44	„
Methylhexylketon	$CH_3.CO.C_6H_3$	0,818	128	11,41	10,42	„
Nitrobenzol	$C_6H_5NO_2$	1,20	123	32,19	32,19	„
Nitromethan	$CH_3.NO_2$	1,096	61	56,35	56,36	„
Nitrotoluol	$C_6H_4.CH_3.NO_2$	1,136	137	27,38	26,58	„
Aethylnitrat	$C_2H_5.O.NO_2$	1,132	91	35,30	17,72	„
Valeriansäure	$CH_3(CH_2)_3CO_2H$	0,9577	102	3.15	3,06	„
Buttersäure	$CH_3(CH_2)_2CO_2H$	0,9587	88	3,20	3,16	„
					3,00	Tereschin
Toluol	$C_6H_5.CH_3$	0,886	92	2,37	2,37	Thwing
					2,36	Palaz
					2,30	Thomasewski
					2,37	Landolt u. Jahn
Metaxylol	$C_6H_4(CH_3)_2$	0,878	106	2,41	2,38	Negreano
Paraxylol	$C_6H_4(CH_3)_2$	0,862		2,37	2,38	Thomasewski
					2,23	Landolt u. Jahn
Schwefelkohlenstoff	CS_2	1,292	76	2,47	2,50	Thwing
					2,61	Palaz
					2,60	Quincke
					2,30	Weber
Schwefel	S	1,98	32	2,58	2,69	Mittel von 12 Beobachtern
Gyps	$CaSO_4$	2,30	232	5,60	5,61	Thwing
Kupfersulfat	$CuSO_4+5H_2O$	2,274	249,5	5,51	5,46	„
Bariumsulfat	$BaSO_4$	4,47	233	11,20	11,40	„
Bleisulfat	$PbSO_4$	6,38	302	15,72	15,80	„
Bleisulfid	PbS	7,30	238,4	17,91	17,92	„
Kaliumsulfat	K_2SO_4	2,65	174	6,25	6,45	„

Tabelle XIV.

K=2,6D

Substanz	Formel	D	K berechnet	K beobachtet	Beobachter
Benzol	C_6H_6	0,898	2,32	2,31	Mittel von 9 Beobachtern
Oktan	C_8H_{18}	0,718	1,87	1,93	Landolt und Jahn
Dekan	$C_{10}H_{22}$	0,746	1,94	1,97	„ „ „
Petroleum		0,8	2,08	2,06	Mittel von 10
Terpentinöl	$C_{10}H_{16}$	0,856 0,87	2,23 2,26	2,23	„ „ 12
Citronenöl		0,853	2,22	2,25	Thomasewski
Vaselinöl		0,863	2,24	2,17	Hopkinson
Chloroform	$CHCl_3$	1,526	3,97	3,95	Thwing
Bromoform	$CHBr_3$	2,83	7,36	7,42	„
Paraffin		0,87 bis 0,91	2,26 2,36	2,18 2,32 1,99 2,28 2,17 2,31	„ Boltzmann Gordon Hopkinson Winkelmann Donle
Ebonit		0,97	2,52	2,53	Mittel von 12
Porcellan		1,739	4,52	4,20	Thwing
Glas (spiegel)		2,4	6,24	5,84	„
Sandstein		2,36	6,18	6,20	„
Sand		2,8	7,28	7,43	„
Marmor	$CaO.CO_2$	2,65	6,89	6,14	„
Kalkspath	$CaO.CO_3$	2,75	7,20	7,35	„
Steinsalz	NaCl	2,16	5,61	5,81	„
Rohzucker	$C_{12}H_{22}O_{11}$	1,58	4,12	4,16	„
Eis	H_2O	0,92	2,50	2,85	„
Eisessig	$C_2H_4O_2$	1,06	2,76	2,79	„
Kaliumchlorat	$KClO_3$	2,33	6,06	6,18	„
Kaliumcarbonat	K_2CO_3	2,29	5,95	5,62	„
Kupferoxyd	CuO	2,65	6,25	6,45	„
Eisenoxyd	FeO	5,12	13,31	14,20	„
Bariumnitrat	$Ba(NO_3)_2$	3,23	8,39	9,15	„
Bleicarbonat	$PbCO_3$	6,57	17,08	18,58	„
Bleioxyd	PbO	9,29	25,15	25,90	„

Wasser, Eisessig und Zucker verhalten sich in festem Zustand gerade so, als ob die Atomgruppen, welchen sie ihre im flüssigen Zustand so grossen Dielectricitätsconstanten zu verdanken scheinen, nicht mehr als solche vorhanden wären.

Wird dies angenommen, so darf man die eigentümliche Aenderung der Dielectricitätsconstante des Wassers mit der Temperatur, wie das abnorme Verhalten alkoholischer Mischungen durch die Annahme erklären, dass eine vollständige Verbindung des Sauerstoffs und Wasserstoffs zu Hydroxyl nur bei ganz bestimmter Temperatur resp. bei vollkommener Reinheit der Substanz stattfindet, und es liegt die Vermutung nahe, dass bei den Mischungsverhältnissen, wo die singulären Punkte auftreten, eine vollkommene Verbindung der Flüssigkeiten zu Hydraten eintritt.

Die vollständige Durchführung der hier aufgestellten Hypothesen erfordert eine viel mannigfaltigere experimentelle Erfahrung, als sie mir augenblicklich zu Gebote steht. Jedoch bietet die einfache und genaue Methode, welche nur eine von den vielen Früchten der in so viele Gebiete übergreifenden Entdeckungen von Hertz ist, die nötigen Hilfsmittel, um diese Annahme, welche durch meine eigenen Resultate wie die anderer Beobachter einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit erlangt hat, zu bestätigen oder zu widerlegen.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Charles Burton Thwing zu Theresa, im Staate New-York, am 9. März 1860, als Sohn von Charles G. und Harriet C. Thwing. Ich bekenne mich zur evangelischen Konfession.

Die Vorbereitung zu meinem Universitätsstudium erhielt ich in der höheren Bürgerschule zu Hamilton (Missouri) und in der „Academy“ zu Evanston (Illinois).

Im Jahre 1884 wurde ich an der Northwestern University zu Evanston (Illinois) immatrikuliert, auf welcher ich, 1888, die Würde eines „Bachelor of Arts“ erwarb. Im folgenden Jahr wurde ich als Dozent der Physik an derselben Universität angestellt, welche Stelle ich bis zum Jahre 1893 bekleidete.

Im August 1893 heirathete ich Lucy Blakeslee White zu Cazenovia (New-York).

Im September dieses Jahres bezog ich sodann die Universität Bonn, um mich an derselben speziell dem weiteren Studium der Physik unter Leitung des Herrn Professor Hertz zu widmen. Leider jedoch war es mir nicht vergönnt, lange mit ihm zusammen zu arbeiten. Ihm vor allen möge mein Dank gelten für die freundlichen Ratschläge, die er mir noch im Anfang meiner Arbeit gegeben hat.

Ausserdem hörte ich in Bonn die Herren Professoren und Dozenten: Bender, Lenard, Lipschitz, Lorberg, J. B. Meyer, Minkowski.

Allen diesen meinen hochverehrten Lehrern spreche ich hiermit meinen herzlichsten Dank aus.

Thesen.

1. Die Electricität besitzt Trägheit.

2. Wasser verbindet sich mit Alkohol zu wenigstens einem Hydrat.

3. Die Maxwell'sche Formel, $K = N^2$, für die Beziehung zwischen Dielectricitätsconstante und Brechungsexponent gilt nicht für Flüssigkeiten.

4. Das Nordlicht ist eine electrische Erscheinung; es besteht aus Entladungen in Gasen von sehr geringer Dichtigkeit.